

Aus dem Physiologischen Institut
der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen
Direktor: Prof. Dr. med. O. F. Ranke

**Gegenbeweis gegen Knochenleitung
mittels Druckwellen
über den Kanal des Nervus ^cakusticus**

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Friedrich-Alexander-Universität
zu
Erlangen

Vorgelegt von
Walter Schneider
aus Neustadt bei Coburg

Dekan: Professor Dr. F. Heim

Referent: Professor Dr. W. D. Keidel

Correferent: Prof. Dr. G. Theissing

Tag der mündlichen Prüfung: 13. 7. 60

Sonderdruck

ZEITSCHRIFT FÜR

LARYNGOLOGIE · RHINOLOGIE · OTOLOGIE

UND IHRE GRENZGEBIETE

SCHRIFTFÜHRUNG: PROF. DR. HANS LEICHER, MAINZ; PROF. DR. RICHARD MITTERMAIER, MARBURG;
PROF. DR. GERHARD THEISSING, LUDWIGSHAFEN · GEORG THIEME VERLAG STUTTGART · ANSCHRIFF
FÜR SCHRIFTFÜHRUNG UND VERLAG: (14a) STUTTGART-N, HERDWEG 63

GEORG THIEME VERLAG · STUTTGART

38. Jahrgang

Stuttgart, im November 1959

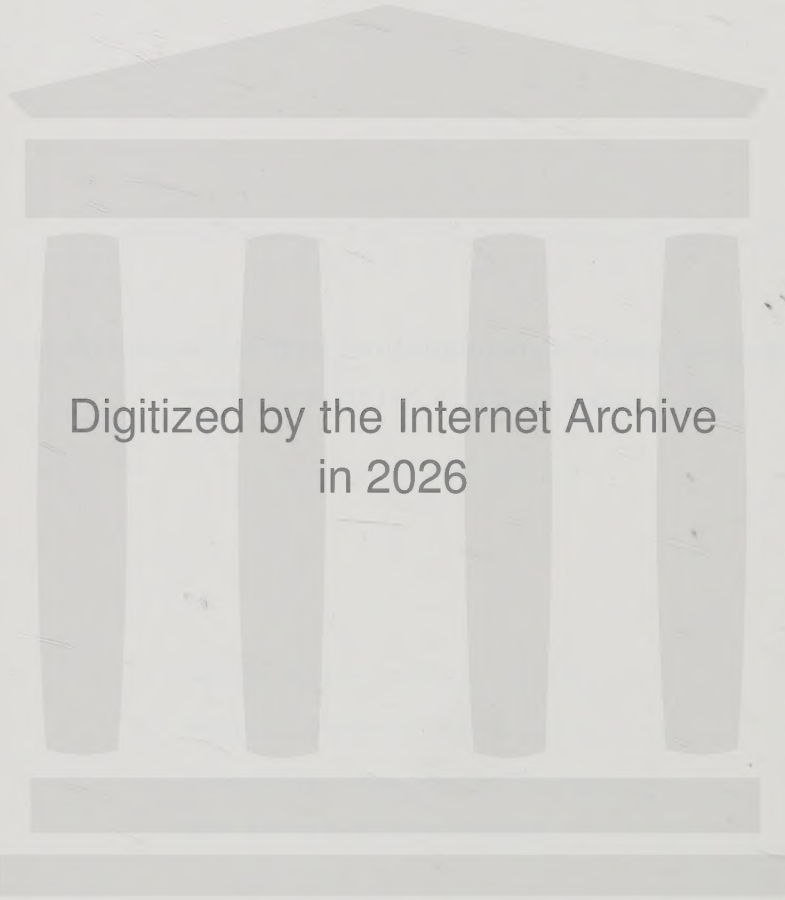
Heft 11

Aus dem Physiologischen Institut der Universität Erlangen

(Direktor: Prof. Dr. O. F. Ranke)

Gegenbeweis gegen Knochenleitung mittels Druckwellen über den Kanal des Nervus acusticus

VON WALTER SCHNEIDER



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548821_0061

Problemstellung

Die Bogengangsfensterung ist neuerdings als operativer Eingriff Allgemeingut der Ohrenheilkunde geworden. Die Ergebnisse dieses Eingriffes haben die bisherigen Vorstellungen vom Hören bei Knochenleitung in Frage gestellt. In den letzten Jahrzehnten waren die Vorstellungen G. v. BEKESYS (1) in Otologie und Physiologie allgemein anerkannt. Er hatte die Hinweise in den Arbeiten A. REJTÖS (2) und H. HERZOGS (3) aufgegriffen, die die Möglichkeit einer Kompression der Schnecke durch Druck bei allseitiger Kompression des Knochens im Frequenzrhythmus erwogen hatten. Auf diese Hinweise und auf die Ergebnisse seiner Arbeiten gestützt, entwickelte G. v. BEKESY folgende Vorstellung vom Hören durch Knochenleitung:

Bei Kompression der Schnecke treten in den Skalen Perilymphvolumenverschiebungen auf, die dadurch kompensiert werden, daß die Membranen der beiden Fenster ausweichen. Die Haarzellen des Corti'schen Organs werden aber nur erregt, wenn die Basilarmembran ausgelenkt wird. Das geschieht nur dann, wenn eine Differenz zwischen den in der Scala vestibuli und den in der Scala tympani verschobenen Perilymphvolumina besteht. Diese Differenz ist durch den asymmetrischen Bau des gesamten Perilymphraumes gesichert. Das Bogengangssystem kommuniziert ja mit der Scala vestibuli in der Nähe des ovalen Fensters. So wirkt ein Perilymphvolumen, das aus den Bogengängen durch Kompression derselben in die Scala vestibuli verschoben wird, wie eine Einwärtsbewegung der Steigbügelmembran. Es addieren sich auf diese Weise in der Scala vestibuli die verschobenen Volumina aus den Bogengängen und der Scala vestibuli, während in der Scala tympani nur der Anteil des in ihr verschobenen Perilymphvolumens vorhanden ist. Die so zwischen den Skalen bestehende Differenz der verschobenen Perilymphvolumina führt zur Auslenkung der Basilarmembran.

Ein Teil des Differenzvolumens weicht jedoch in die Nische des ovalen Fensters aus. Da dessen Membran nach G. v. BEKESY (4) aber meist härter und weniger auslenkbar ist als die des runden Fensters, wirkt die größere Komponente des Differenzvolumens in Richtung der Scala tympani. Trotzdem ist offensichtlich, daß das Innenohr beim Knochenleitungshören, soweit es nach der Anschauung v. BEKESYS funktioniert, nicht optimal arbeitet.

Würde nun das Innenohr beim Hören durch Knochenleitung allein nach den Vorstellungen G. v. BEKESYS erregt werden, so lägen bei absoluter Fixation des Steigbügels (Stapesankylose) optimale Funktionsbedingungen vor. Die Schwelle für das Knochenleitungshören hätte in diesem Falle ihre geringste Höhe.

Jede zusätzliche Ausweichstelle für die Perilymphe auf der Seite der Scala vestibuli, wie ein operativ gesetztes Fenster am lateralen Bogengang, würde die Volumendifferenz verringern und müßte daher stets von einer Schwellenerhöhung oder sogar von einem Verlust des Knochenleitungshörens begleitet sein.

Die Fensterungsoperation (PASSOW, 1897, HOLMGREEN, 1922) zeigt aber Ergebnisse, die der aus der v. BEKESYSschen Anschauung abgeleiteten Folgerung widersprechen.

CARHART (5) rechnet bei der Erfolgsprognose einer Fensterungsoperation im Frequenzbereich von 500 bis 2400 Hz sogar mit einem Hörgewinn von 5 bis 15 db für die Knochen-

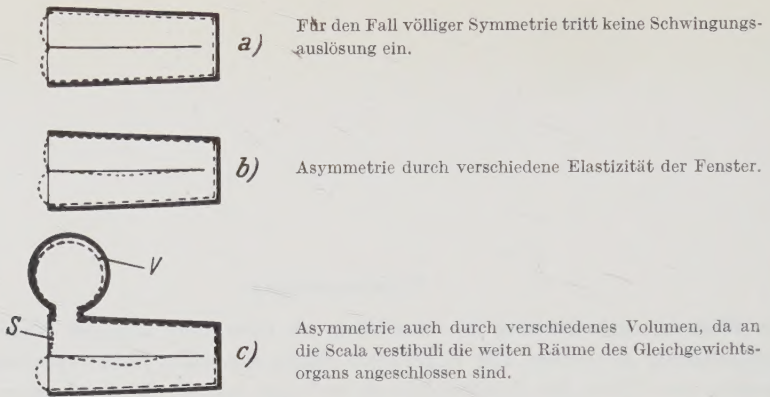


Abb. 1 a—c: Schematische Darstellung der Schwingungsauslösung in der Perilymphe durch Volumenkompression der Innenohrräume nach G. v. BEKEST:

leitung. Da sich therapeutisches Ergebnis und Theorie demnach nicht entsprechen, sieht sich die Physiologie veranlaßt, ihre Vorstellungen vom Hören bei Knochenleitung zu revidieren.

Im Bemühen, diesem Umstand Rechnung zu tragen, hat O. F. RANKE (6) darauf hingewiesen, daß auch eine Druckdifferenz zwischen den beiden Skalen eine Volumenverschiebung im Perilymphraum auslösen kann; gleichzeitig hat er Möglichkeiten aufgewiesen, wie eine Druckdifferenz in der Schnecke erzeugt werden kann.

Eine Druckdifferenz kann in der Schnecke erzeugt werden durch:

1. Kräfte, die von außen auf die Innenohrflüssigkeit wirken;
2. Trägheitskräfte der Innenohrflüssigkeit, die bei translatorischer Beschleunigung des Felsenbeins auftreten.

Außerdem hat RANKE im Modellversuch gezeigt, daß bei translatorischen Schwingungen des Felsenbeins zwischen den beiden Skalen eine Druckdifferenz auftreten kann, wenn die Schneckenkanäle mit verschiedenen Massen belastet sind. Eine zusätzliche Massenbelastung für die Scala vestibuli ist sicher in der Gehörknöchelchenkette am ovalen Fenster gegeben. Im Falle der Fensterung übernimmt die Perilympfsäule des gefensterten Bogenganges bis zum angelegten Fenster die Funktion der zusätzlich die Scala vestibuli belastenden Masse (s. Abb. 2).

JAHN (7) untersuchte im Hinblick auf diese Vorstellung die Relativbewegung der Gehörknöchelchenkette zum Felsenbein beim Einwirken von Beschleunigungsenergie und registrierte dabei die Phasenrichtung beim Anschwingen des Trommelfells und der Gehörknöchelchenkette. Er ließ aus verschiedenen Richtungen Schallwellen, die er durch Abschießen einer Pistole erzeugte, auf frische menschliche Felsenbein-Schlafenbeinpräparate einwirken. Die Versuche wurden unter Bedingungen durchgeführt, wie sie in der Beschriftung der Abb. 3 wiedergegeben sind. War der äußere Gehörgang verschlossen, dann schwang die Gehörknöchelchenkette nach außen an (siehe Abb. 3c), während bei Verschuß des inneren und des äußeren Gehörganges die Kette nach innen anschwang (siehe Abb. 3d). Es trat also nach dem Verschließen des Hörnervenkanals eine Phasenumkehr beim Anschwingen des Trommelfells ein.

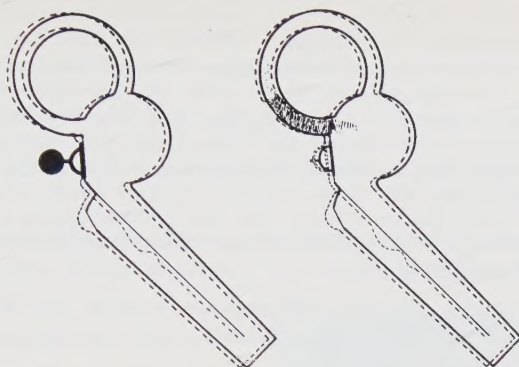


Abb. 2: Schematische Darstellung der Schwingungsauslösung in der Perilymphe durch Massenbeschleunigung bei seitlicher Schwingung des ganzen Felsenbeines, links bei normalen Verhältnissen am Ovalen Fenster, rechts bei Stapesankylose und Fensterung.

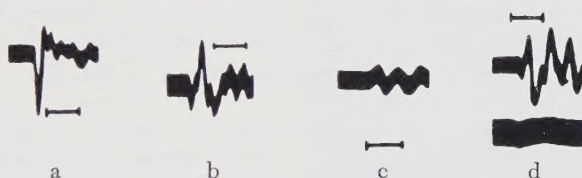


Abb. 3 a—d:

- | | |
|--|---|
| <p>a) Schall von der Außenseite, beide Gehörgänge offen, das Trommelfell schwingt nach innen an.</p> <p>b) Schall von der Schädelhöhenseite, beide Gehörgänge offen, Trommelfell schwingt nach innen an.</p> | <p>c) Schall von der Schädelhöhenseite, äußerer Gehörgang verschlossen, das Trommelfell schwingt nach außen an.</p> <p>d) Schall von der Schädelhöhenseite, äußerer und innerer Gehörgang verschlossen, das Trommelfell schwingt nach innen an.</p> |
|--|---|

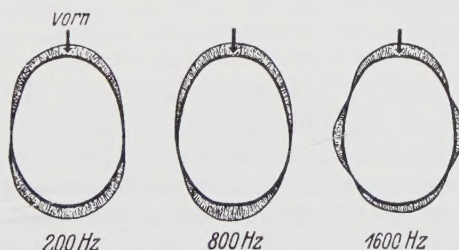


Abb. 4: Die Schwingungsfiguren des menschlichen Schädels in Basisnähe bei Anregung mit einem Schwingkörper in verschiedenen Frequenzen, nach G. v. BEKESY.
(Pfeil = Ort der Anregung.)

Diese Beobachtung wurde so gedeutet, daß die Luftdruckschwankungen des Schalls den Nervus statoacusticus in seinem Kanal zum Schwingen anregen, und daß die Schallenergie — auf diesem Weg fortgeleitet — im Perilymphraum Volumenverschiebungen auslöst. Ob dabei die Masse des Nerven, physikalisch als Flüssigkeit wirkend, den Modiolus und damit die ganze Schnecke deformiert oder ob die Druckschwankungen über die feinen Kanälchen der Nervenverzweigungen in das Innenohr gelangen, bleibt offen. Die Ergebnisse G. v. BEKESYS (1) über die Schwingungsformen des Schädels in der Nähe der Basis beim Knochenleitungshören können diese Vorstellung besonders für den Bereich der hohen Frequenzen nur bestärken, da in diesem Fall das Felsenbein regelmäßig auf einem Schwingungsbauch liegt. Es schwingt also immer mit maximaler Amplitude (Abb. 4).

Die Schallschwingungen können durch zwei verschiedene Mechanismen vom Schädel auf das Innenohr übertragen werden:

1. Bei Deformation des Schädels entstehen im Inneren der Schädelkapsel Druckschwankungen, die sich als Longitudinalwellen über die Gehirnmasse und den Hörnerv bis in die Schnecke fortpflanzen.
2. Das Felsenbein schwingt als praktisch starrer Körper gegen die Masse des Hörnerven, der ja nur mittels lockeren Bindegewebes in seinem Kanal eingebettet ist. Die durch dieses Bindegewebe auf den Nerven übertragenen Kräfte dürften jedoch nicht ausreichen, ihn mit dem Felsenbein in Phase zu halten. Die einzige Stelle, wo auf den Nerven Beschleunigungskräfte ausgeübt werden können, bleibt der Modiolus, der seinerseits in entgegengesetzter Richtung wirkenden Trägheitskräften des Nervus statoacusticus ausgesetzt ist. (Siehe Schema in Abb. 5.)

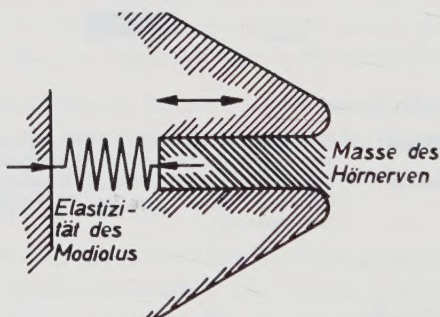


Abb. 5: Schematische Darstellung der Kräfte, die bei frontal gerichteten translatorischen Schwingungen des Felsenbeines am Modiolus auftreten.

In der vorliegenden Arbeit soll nun nachgeprüft werden, ob Gehirn und Nerv beim Knochenleitungshören durch die Schwingungen der Schädelkapsel synchrone Druckschwankungen erleiden, die — in das Innenohr fortgeleitet — als Reiz wirken.

Wird die Schallenergie bei Knochenleitung durch frequenzgleiche Druckschwankungen übertragen, die den Inhalt der Schädelkapsel bis zur Schneckenbasis durchlaufen, dann müssen bei einem trepanierten Schädel diese Druckschwankungen unter der Trepanationsöffnung zu Volumenverschiebungen führen. Auf diese Weise geht ein beträchtlicher Teil der Schallenergie verloren, die sonst ihren Weg in die Schnecke nehmen würde. Es muß also beim Öffnen und Schließen eines Trepanationsloches ein Unterschied in der Erregungsgröße des Innenohres auftreten. Zuerst stellten wir deshalb bei Schädel-trepanierten Schwellenuntersuchungen an. Mit dem ATLAS-Audiometer wurde die Hörschwelle beim Knochenleitungshören im Frequenzbereich von 64 bis 11 584 Hz bestimmt.

Dies wurde bei offenem und bei mit einem Plexiglasstempel defektlos abgedeckten Trepanationsort durchgeführt. Die Ergebnisse, die gewonnen werden konnten, waren vieldeutig. Um statistische Reihenuntersuchungen anstellen zu können, war jedoch das faßbare Patientengut zu gering. Deshalb wurde schließlich zu Tierversuchen übergegangen.

Operation:

Methodik

Zehn Katzen wurden wie folgt zum Versuch vorbereitet: Den Tieren wurden 2 ccm Dial intraperitoneal verabreicht. Nach etwa 45 Minuten war die Narkose vollständig. Die Schädel-, Hals- und Nackenhaare wurden gekürzt. Bei dem auf der rechten Seite liegenden Tier wurde dann die Tracheotomie durchgeführt und eine Trachealkanüle eingebunden. Nach dem Einspannen in den Kopfhalter wurde ein etwa 8 cm langer Hautschnitt gesetzt, der von der



Abb. 6: Lupenaufnahme des Runden Fensters auf seinem Knochenwall. Auf diesem wurde die Ableitelektrode angelegt. Links in der Tiefe ist die Gehörknöchelchenkette sichtbar.

Schädelmedianen hinter der linken Ohrmuschel vorbei zum seitlichen Nacken verlief. Die Kopfschwarte wurde mit dem Raspatorium nach beiden Seiten hin abgelöst, so daß die Scheitelbeine frei lagen. Unter Entfernung eines Teiles der Nackenmuskulatur wurde das Mastoid so freipräpariert, daß die Bulla mastoidea gut zugänglich war. Dann wurde die Schädeltrepanation durchgeführt. Das Trepanationsloch wurde direkt oberhalb der Linea nuchae und etwa 10 bis 15 mm links der Schädelmedianen angelegt. Mit einem kugelförmigen Zahnarztbohrer wurde die dünne Knochenlamelle des Schädeldaches vorsichtig abgetragen, bis die Dura mater vorlag. Dann wurde das Loch mit einer kleinen Knabberzange allmählich auf etwa 7 mm Durchmesser erweitert. Auftretende Diploeblutungen wurden durch Verstreichen der Knochenränder mit Knochenwachs zum Stehen gebracht. Die Öffnung des Schädels wurde unter Öl vorgenommen, damit keine Luft in die Schädelkapsel gelangen konnte. Durch einen kleinen Plastilinwall wurde das Öl während der ganzen Zeit des folgenden Versuches über der Trepanationsstelle gehalten. Zuletzt wurde die dünne Knochenlamelle der Bulla mastoidea mit einem Bohrer durchbohrt und mit der Knabberzange fast restlos entfernt, damit das runde Fenster auf seinem Wall gut sichtbar und zugänglich war (siehe Abb. 6).

Der Schädel des Tieres wurde fest auf ein Sandsäckchen gelagert und durch den Kopfhalter in seiner Lage fixiert. Die Trepanationsöffnung lag so, daß sie senkrecht von oben geschlossen werden konnte.

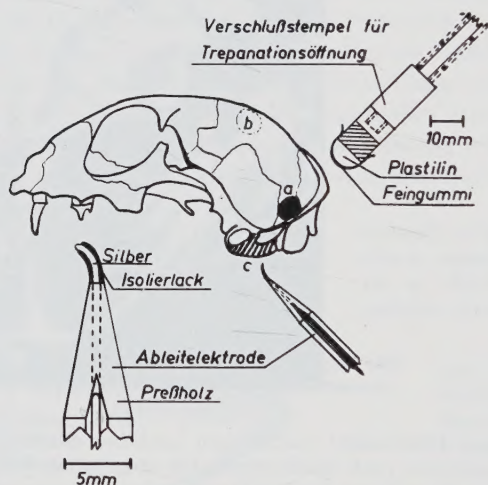
Das Tier wurde dann mit einem Teil der Versuchsanordnung in einem von Herrn Professor Dr. W. D. KEIDEL errichteten schallarmen Raum untergebracht, der als Faradayscher Käfig aus-

gebildet war* (in Abb. 8 gestrichelt dargestellt). So waren akustische und elektrische Störungen ausgeschaltet.

Versuchsanordnung:

Die Übertragung der Reizfrequenz auf den Schädel des Tieres wurde von einem ATLAS-Knochenhörer über einen etwa 300 mm langen Glasstab vorgenommen. Die Kopplung zwischen Knochenhörer und Glasstab einerseits und zwischen Glasstab und Tierschädel andererseits wurde mit je einer dünnen Lage Plastilin erreicht. Die Ankopplung erfolgte regelmäßig über den Scheitelbeinen des Tieres. Um elektrische Streufelder vom Knochenhörer her zu verhindern, wurde dieser in einen Faradayschen Käfig eingebaut. Das Zuleitungskabel zum Knochenhörer war ebenfalls abgeschirmt. Konstanter Auflagedruck des Glasstabes auf den Tierschädel war durch eine Halterung mit Druckfeder gesichert.

Die Trepanationsöffnung konnte mit einem Stempel aus Plexiglas verschlossen werden. Dieser trug eine feingummiüberzogene Kuppe, damit der Verschluss sicher vollständig war. Der Trepanationsort lag ständig unter einem Ölspiegel von Körpertemperatur. So war die Bildung eines Luftpolsters unter dem Stempel beim Verschließen ausgeschlossen. Hinter den Stempel war eine Druckfeder geschaltet, die für konstanten Verschleißdruck sorgte. Öffnen und Schließen der Trepanationsöffnung konnte mit einem Handgriff besorgt werden.



- a) Ort der Trepanation (schwarz).
- b) Trepanationsort in einem Fall der Versuchsreihe.
- c) Knochenlamelle der Bulla mastoidea, die entfernt werden mußte, damit die Ableitelektrode auf dem Wall des runden Fensters angelegt werden konnte (schraffiert).

Abb. 7: Schematische Darstellung der Versuchsanordnung.

Von der zuerst angewandten unsicheren und subjektiven Meßmethode der Hörschwellenbestimmung am Menschen wurde bei den Tierversuchen zur Registrierung der Reizfolgestromamplitude übergangen. Der Reizfolgestrom, von FORBES, MILLER und O'CONNOR (8) gefunden, von DAVIS und STEVENS (9) als elektrisches Äquivalent der Erregung der Haarzellen erkannt und „microphonic“ genannt, ist für objektive Messungen der Erregungsvorgänge des Innenohres besonders günstig, da seine Spannung, die zwischen einigen hundert Mikrovolt und einem Millivolt liegt, in einem ausreichenden Umfange proportional der angebotenen Reizintensität ansteigt.

Als differente Elektrode wurde ein 12 cm langer und 0,6 mm starker Silberdraht verwendet, der in eine Präzisionsholzhalterung eingezogen war. Das Ganze war bis auf die Stirnfläche des Silberdrahtes mit Isolierlack isoliert (siehe Abb. 7). Als indifferente Elektrode diente eine Krokodilklemme, die an die freiliegende Nackenmuskulatur angelegt wurde.

* Die Mittel zu diesem Raum wurden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft zur Verfügung gestellt.

Die differente Elektrode wurde mit einem Kreuztrieb auf den Knochenwall des runden Fensters aufgesetzt. Die abgeleiteten Reizfolgeströme wurden in einem batteriegetriebenen Differentialvorverstärker innerhalb des schalldichten Raumes vorverstärkt und dann in einem netzbetriebenen RC-Verstärker mit hierfür geeignetem Frequenzgang auf die zur Auslenkung des Kathodenstrahls notwendige Spannung verstärkt. Zwischen den Ausgang dieses Verstärkers und die Ablenkplatten des Oszillographen waren je ein Hoch- und Tiefpaß mit Anpassungsverstärker geschaltet, so daß bei beliebig einstellbarer Bandbreite derjenige Frequenzbereich ausgeblendet werden konnte, der durch die Reizfrequenz vorgegeben war. Dem Beobachtungsoszillographen war ein Registrieroszillograph parallelgeschaltet, von dessen Bildschirm die synchronisierten Potentiale als stehende Bilder mittels einer nach dem Prinzip des Photokymographions arbeitenden Registrierkamera registriert wurden¹.

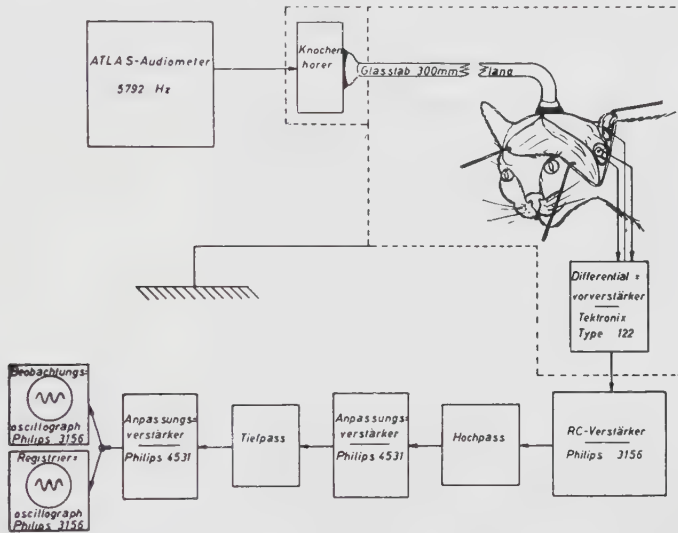


Abb. 8: Schema der Reizübertragung und der Ableitung des Reizfolgestromes sowie dessen Verstärkungsweg.

Versuchsdurchführung und -ergebnisse

Bei allen Tieren wurde mit einem Ton von etwa 6000 Hz gereizt, der auf dem Audiometer fest eingestellt werden konnte. Diese Tonhöhe wurde mit Rücksicht darauf gewählt, daß beim Menschen die Schwingungsfiguren des Schädels nach G. v. BEKESY (1) erst dann entstehen, wenn der Schäeldurchmesser ein Viertel der Wellenlänge des Reiztones, oder mehr beträgt. Da der Durchmesser des Katzenschädels seinerseits den vierten bis fünften Teil des menschlichen Schäeldurchmessers ausmacht, mußte die Frequenz, bei der eine sichere Deformation des menschlichen Schädels eintritt, mit einem Faktor von 4 bis 5 multipliziert werden.

Die Reizstärke wurde so gewählt, daß die auf dem Schirmbild des Oszillographen abgebildete Reizfolgestromamplitude sich proportional einer versuchsweise vorgenommenen Reizintensitätsänderung veränderte. Der Reizfolgestrom befand sich also bei der im Versuch verwendeten Reizintensität immer in seinem Proportionalitätsbereich.

¹ Die Verstärker und Oszillographen sind eine Leihgabe der Deutschen Forschungsgemeinschaft.

Ein Verschluß des runden Fensters, wie er von O. F. RANKE und Mitarbeitern (10) in „Hören bei Verschluß des runden Fensters“ beschrieben ist, führte durch Behinderung der Perilymphverschiebungen zu dem bekannten Effekt der Reizfolgestromverminderung. Diese lag in der gleichen Größenordnung, wie sie in der genannten Arbeit beschrieben wurde. Es konnte beobachtet werden, daß sich die Reizfolgestromamplitude mit steigendem Aufsetzdruck des Verschlußstempels auf die Nische des runden Fensters im umgekehrt proportionalen Verhältnis änderte. Diese Tatsache zeigt ebenfalls, daß sich der Reizfolgestrom im Versuch innerhalb seines Proportionalitätsbereiches bewegte. Durch Absetzen des Glasstabes vom Tierschädel um einige Millimeter konnte der Reizfolgestrom fast zum Verschwinden gebracht werden. Der verbleibende Rest geht auf den Teil der Schallenergie zurück, der über die Luft dem Tier zugeleitet wurde. Somit ist bewiesen, daß eine elektrische Einstreuung nicht erfolgte.

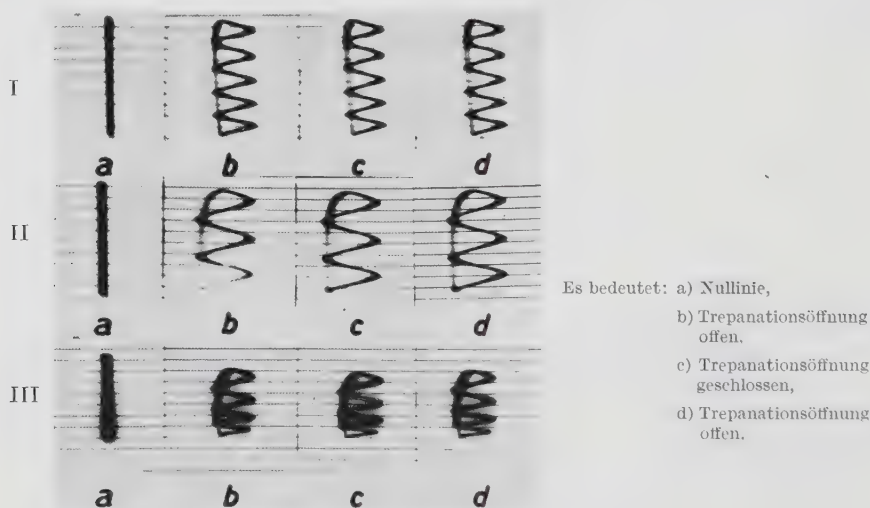


Abb. 9: (I a—d, II a—d, III a—d) Die Aufnahmereihen I—III sind aus Versuchen mit verschiedenen Tieren.

Die Versuche wurden in folgender Weise an den Tieren durchgeführt:

Zuerst wurden beide Fenster frei und unbelastet gelassen. Bei ständig auf den Tierschädel wirkender Reizfrequenz wurde die Trepanationsöffnung mehrmals mit dem in Abb. 7 wiedergegebenen Stempel abwechselnd geschlossen und geöffnet. Von jeder Position wurde, nachdem elektrische Artefakte abgeklungen waren, vom Bildschirm des Kathodenstrahloszillographen eine Aufnahmengruppe von drei stehenden Bildern aufgenommen. Am Anfang jeder Reihe wurde die Nulllinie registriert. Die Abb. 9 zeigt einige Bilder von Reizfolgestromamplituden, die unter den genannten Versuchsbedingungen gewonnen werden konnten.

Danach wurde das runde Fenster mit einem Stempel verschlossen, wie er bei O. F. RANKE und Mitarbeitern (10) in „Hören bei Verschluß des runden Fensters“ beschrieben ist. War das runde Fenster vollständig verschlossen, dann sank das Reizfolgestrompotential auf Null ab. Bei inkomplettem Verschluß des Fensters verringerte sich die Reiz-

Versuch Nr.	Auf- nahmen- gruppeNr.	Amplitude in mm			Mittel- wert (in mm)	Auf- nahmen- gruppeNr.	Amplitude in mm			Mittel- wert (in mm)	Auf- nahmen- gruppeNr.	Amplitude in mm			Mittel- wert (in mm)	Amplitude in mm			Mittel- wert (in mm)	
		Bild Nr.	1	2			3	Bild Nr.	1			2	3	Bild Nr.		1	2	3		
I																				
II	3	11,0	11,0	11,0							11	5,5	5,2	5,2	5,1	12	4,8	4,8	5,0	4,85
	5	11,0	11,0	10,5	10,9	4	11,0	11,0	11,0	11,0	13	4,8	5,0	5,0						
	10	12,0	11,5	12,0							14	6,0	6,0	6,0		15	5,7	5,7	5,8	5,86
	12	11,5	12,0	12,0	11,66	11	11,5	11,5	12,0		16	5,8	6,0	6,0						
	17	11,5	11,5	11,5		18	11,7	11,5	11,3	11,58	20	6,3	6,0	6,0	5,98	21	6,2	6,0	5,8	
IV	19	11,0	11,5	12,0							22	6,0	5,9	5,8						
	2	8,0	8,5	8,5																
	4	8,0	8,5	8,5	8,3	3	8,0	8,3	8,5		27	2,5	3,0	2,5		28	2,5	2,5	2,5	2,5
	5	8,7	8,5	8,5		6	8,0	8,0	8,0	8,1	29	3,0	3,0	2,5	2,75					
	7	8,0	8,0	8,0																
VI	24	5,5	5,5	5,0	5,5	25	5,5	5,2	5,5	5,4										
	26	5,5	5,5	6,0																
	30	6,0	6,5	6,0	6,4	31	6,5	6,5	6,2	6,4										
	32	6,5	6,5	7,0																
	34	5,0	4,7	5,0	4,85	35	4,7	5,0	4,8	4,83										
VII	36	4,8	4,9	4,8																
	18	5,8	5,8	5,8		17	5,8	6,0	5,9											
	20	5,5	5,5	5,5	5,43	19	5,7	5,5	5,7	5,6										
	22	5,0	5,5	5,3		21	5,3	5,3	5,5											
	24	5,0	5,0	5,5		23	5,5	5,5	5,5											
VIII	2	6,0	5,7	5,9		3	5,5	5,5	5,6											
	4	6,0	6,1	6,1	5,64	5	6,1	6,0	6,1	5,64	22	5,3	5,3	5,5		23	5,1	5,0	5,1	5,17
	6	6,0	6,0	5,7		7	5,5	5,2	5,3		24	5,1	5,2	5,2	5,3	25	5,2	5,1	5,2	
	8	5,2	5,0	5,1							26	5,3	5,5	5,3	5,3	27	5,4	5,0	5,5	
	14	8,0	8,2	8,3		15	8,5	8,2	8,2											
	16	8,2	8,1	8,5	8,25	17	8,5	8,0	8,0	8,18										
	18	8,0	8,2	8,0		19	8,2	8,0	8,1											
	20	8,7	8,5	8,3																
	30	8,7	8,5	9,0	8,33	31	8,7	8,8	9,0	8,55										
	32	8,3	8,0	8,3		33	8,5	8,1	8,2											
	34	8,0	8,2	8,0																

Abb. 12 (Tabelle)

folgestromamplitude entsprechend dem Grad des Verschlusses. Auch hier, bei verschlossenem runden Fenster, wurde die Trepanationsöffnung mehrmals geöffnet und verschlossen und bei jeder Stellung eine Aufnahmengruppe von drei stehenden Bildern registriert.

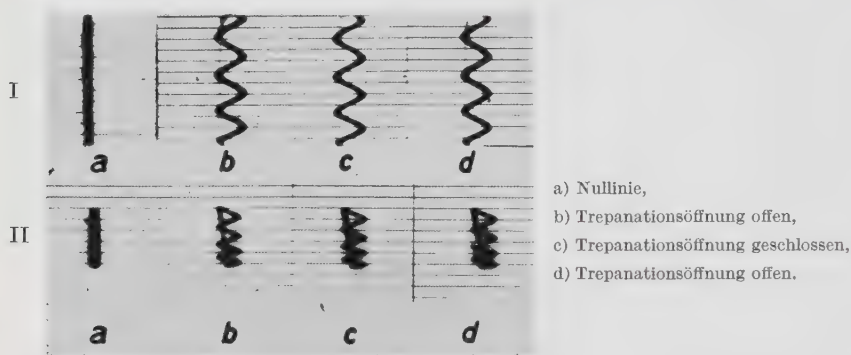


Abb. 10: (Ia—d, IIa—d) Die Aufnahmereihen I und II stammen aus Versuchen mit verschiedenen Tieren.

Die Abbildung 10 zeigt Aufnahmen von Reizfolgestromamplituden bei inkomplettem Verschuß des runden Fensters. Nachdem der Stempel vom runden Fenster entfernt wurde, trat der Reizfolgestrom wieder in seiner alten Größe auf.

Bei zwei Tieren wurde dann noch die Knochenlamelle zwischen Bulla mastoidea und Cavum tympani entfernt, so daß das Cavum tympani mit der Gehörknöchelchenkette zugänglich war (Abb. 6). Das Cavum tympani wurde in einem Fall mit einer Gipsplombe,

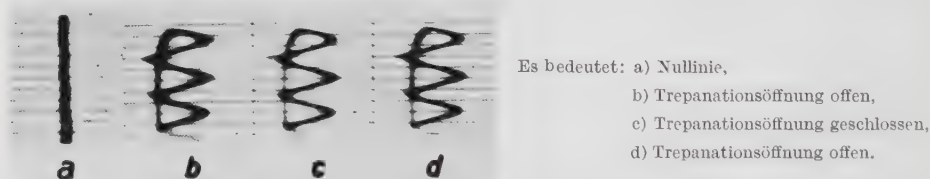


Abb. 11: (a—d) Reizfolgestromamplituden bei fixiertem Steigbügel.

im anderen Fall mit Plastilin ausgemauert. So wurde eine Fixierung der Gehörknöchelchenkette und ein Verschuß des ovalen Fensters erreicht, was den Bedingungen einer Stapesankylose entspricht. Damit war der Verlust der Perilymphverschiebung, der trotz der zusätzlichen Massenbelastung der Scala vestibuli durch die Gehörknöchelchenkette auftritt, ausgeschlossen. Auch in diesem Fall wurde die Trepanationsöffnung abwechselnd geöffnet und geschlossen und von jeder Position drei Aufnahmen gemacht (s. Abb. 11).

Auswertung der Versuche

Mit einer in Millimeter geteilten Meßplatte, die mit einem Nonius versehen war, wurden die Amplituden der als ein Zug Sinusschwingungen auf den Schirmbildaufnahmen wiedergegebenen Reizfolgestrompotentiale gemessen und tabellarisch erfaßt. Innerhalb

jeder Versuchsreihe wurden dann für die Amplituden der Position „Trepanationsöffnung offen“ sowie der Position „Trepanationsöffnung geschlossen“ die Mittelwerte aller zusammengehörigen Reizfolgestromamplituden errechnet und ebenfalls in die Tabelle eingesetzt. Durch diese Auswertungsmethode waren auftretende Veränderungen des Reizfolgestrompotentials und damit Veränderungen der Erregungsgröße des Innenohres beim Öffnen und Schließen der Trepanationsöffnung sicher erfassbar. Die Tabelle in Abbildung 12 zeigt einen Auszug aus der Gesamttabelle für alle Versuche. In sie wurden Ergebnisse derjenigen Versuchsreihen aufgenommen, die sich, da eine genügende Anzahl von Einzelwerten gewonnen werden konnte, für eine statistische Auswertung am besten eignen.

Schon der grobe Vergleich einer zusammengehörigen Aufnahmenreihe zeigt, daß kein deutlicher Unterschied der Reizfolgestromamplituden bei offener und geschlossener Trepanationsöffnung besteht. Noch deutlicher zeigt sich dies, wenn man einander entsprechende Amplitudenmittelwerte miteinander vergleicht. Diese weichen nur in den Stellen nach dem Komma maximal um zwei Zehntel voneinander ab. Eine statistische Durchrechnung für einzelne Versuchsreihen zeigte, daß diese geringfügigen Abweichungen der Mittelwerte voneinander keinen signifikanten Unterschied bedeuten.

Besprechung der Ergebnisse

Die Ergebnisse erlauben eine Entscheidung zwischen der auf Seite 726 dargestellten Alternative, ob Druckschwankungen im Schädelinnern oder ob Trägheitskräfte, die bei seitlichen Schwingungen des Felsenbeines auftreten, für die Auslösung von Volumenverschiebungen im Innenohr Bedeutung haben können.

Würden die bei Frequenzen über 800 Hz auftretenden Schädelerschwingungen im Schädelinhalt frequenzgerechte und synchrone Druckschwankungen erzeugen, die sich als Longitudinalwellen über die Masse des Gehirns und des Hörnerven bis zur Schneckenbasis fortpflanzen, so müßte das Öffnen und Schließen einer Trepanationsöffnung am Schädel eine Amplitudenänderung der intrakraniellen Druckschwankungen und damit der Reizintensität für das Innenohr bewirken. Da aber mit dieser Arbeit nachgewiesen werden konnte, daß beim Öffnen und Schließen eines Trepanationsloches beim Hören durch Knochenleitung keine Änderung des Reizfolgestrompotentials eintritt, kann geschlossen werden, daß auch die Größe der in der Perilymphe ablaufenden Volumenverschiebungen nicht verändert wird. Der angenommene Reizantransportmechanismus, wonach Gehirn- und Hörnervenmasse als Drucküberträger beim Hören durch Knochenleitung wirken, entspricht also nicht der Wirklichkeit.

Der zweite Weg der Schallübertragung über den Hörnervenkanal auf das Innenohr bleibt aber noch offen. Er besteht darin, daß das Felsenbein und der Nervenkanal gegen die Masse des Nerven in dessen Achse schwingen. Auch so entstehen an der Schneckenbasis Druckschwankungen, deren Amplitude mit der hier verwendeten Versuchsanordnung nicht beeinflußt werden kann.

Zusammenfassung

Kopfknochenschwingungen können zur Knochenleitung entweder über Druckschwankungen des Schädelinhalts und deren physikalische Fortleitung durch den Hörnervenkanal oder über translatorische Felsenbeinschwingungen und Massenträgheit beitragen.

Nachdem Hörschwellenmessungen bei sechs schädeltrepanierten Patienten keine sicheren Ergebnisse brachten, wurde der Reizfolgestrom an zehn schädeltrepanierten Katzen bei offener und geschlossener Trepanationsöffnung abgeleitet und gemessen. Es ergab sich keine statistisch gesicherte Veränderung der Amplitude des Reizfolgestromes beim Öffnen und Verschließen der Trepanationsöffnung. Hieraus wird geschlossen, daß etwaige schallsynchrone Druckschwankungen des Schädelinhaltes keinen wesentlichen Beitrag zum Hören durch Knochenleitung liefern.

Summary

Vibrations of the bone of the skull may play a part in bone conduction either through pressure changes of the cranial contents being transmitted through the auditory nerve canal, or through vibrations of the temporal bone mass itself. Threshold measurements in six patients after skull trephining gave equivocal results. Electrical potential changes were therefore measured following stimulation in ten cats, with their trephine openings open and closed. There were no significant changes in amplitude of the current, and it is concluded that pressure changes of the cranial contents synchronous with sound do not play an essential part in hearing by bone conduction.

J. M. K.

Resumen

Las vibraciones de los huesos del cráneo pueden contribuir a la conducción ósea, ya sea por las variaciones de presión del contenido craneano y su conducción física por el conducto auditivo interno o por traslado de vibraciones a través del peñasco y la inercia. — Tras haber medido los umbrales de audición de 6 pacientes trepanados, sin resultados apreciables, se procedió a medir las corrientes de acción en 10 gatos, ya sea con la trepanación abierta o cerrada. Estadísticamente no se pudo comprobar variantes seguras de la corriente de acción, con la trepanación abierta ni cerrada. Se sacó como conclusión que eventuales variantes de presión del contenido craneano sincrónicas con el sonido, no contribuyen esencialmente en la audición por conducción ósea.

J. B.

Schrifttum

1. BEKESY, G. v.: Ann. d. Physik 13 (1932): 111. J. of the Acoust. Soc. of Am. 20 (1948): 749.
- 2. REJTÖ, A.: Verhandlg. der deutsch. otolog. Ges., 23. Versammlung, S. 265.
- 3. HERZOG, H.: Zschr. für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde. 27 (1930): 402.
- 4. BEKESY, G. v.: Zitiert bei O. F. RANKE, „Gehör — Stimme — Sprache.“ (Berlin, Göttingen, Heidelberg; Springer 1953).
- 5. CARHART, R.: Trans. Amer. Acad. Ophthalm. u. Otolaryngol. 56 (1952): 621—629.
- 6. RANKE, O. F.: „Gehör — Stimme — Sprache.“ (Berlin, Göttingen, Heidelberg; Springer 1953.)
- 7. JAHN, G.: Zschr. für Laryngol. Rhinol. u. Otologie. 32 (1953): 442 ff.
- 8. FORBES, A., R. H. MILLER, O'CONNOR: Zitiert bei DAVIS und STEVENS.
- 9. DAVIS, H., S. S. STEVENS: „Hearing, its psychology and physiology“ N. Y., J. Wiley, 3. Auflage (1948).
- 10. RANKE, O. F., W. D. KEIDEL, H. G. WESCHKE: 1. Zschr.: Zschr. f. Laryngol. Rhinol. u. Otologie 31 (1952): 468 ff.
2. Zschr.: Akustische Beihefte (Acustica) 1, AB 145 (1952).

Abbildungsverzeichnis:

Abb. 1, 2 und 4: Aus O. F. RANKE u. H. LULLIES. „Gehör — Stimme — Sprache.“ (Berlin usw., Springer 1953).

Abb. 3: Aus G. JAHN. „Über die Schwingungsfähigkeit des menschlichen Felsenbeines usw.“ (Zschr. f. Laryngo-, Rhino- u. Otologie. 32 (1953): 442.)

Abb. 6: Aus O. F. RANKE, W. D. KEIDEL, H. G. WESCHKE. „Hören bei Verschuß des runden Fensters.“ (Zschr. f. Laryngo-, Rhino- u. Otologie. 31 (1952): 468.)

Anschrift des Verfassers: Dr. Walter Schneider, Neustadt (Coburg) Heubischerstr. 18

LEBENS LAUF

Am 1. Dezember 1928 wurde ich, Walter Schneider, als zweites Kind des Postbetriebsassistenten Bernhard Schneider und seiner Ehefrau Grete Schneider geb. Wendler in Neustadt bei Coburg geboren. Von Ostern 1935 bis Ostern 1943 besuchte ich die achtklassige Volksschule meines Heimatortes. Nach meiner Schulentlassung trat ich als Flugmotorenschlosserlehrling bei der ehemaligen Deutschen Luftwaffe auf dem Fliegerhorst Ansbach ein Lehrverhältnis an. Dieses wurde durch meine Einberufung zum Wehrdienst unterbrochen und mit dem Kriegsende aufgehoben. Beim Kabelwerk der Firma Siemens & Schuckert in Neustadt bei Coburg vollendete ich dann meine Lehrzeit als Maschinenschlosser. Dort legte ich im Herbst 1946 die Gehilfenprüfung als Maschinenschlosser ab. Bis zum Herbst 1949 arbeitete ich in meinem Lehrbetrieb noch weiterhin als Schlossergehilfe.

Ab 1. September 1949 besuchte ich dann eine private realgymnasiale Aufbauschule in Darmstadt, von der ich Anfang 1952 auf die staatliche Oberrealschule in Coburg überwechselte, wo ich im Juni 1954 die Reifeprüfung bestand. Anschließend nahm ich an der Friedrich-Alexander-Universität zu Erlangen das Medizinstudium auf. Am 2. 10. 1955 heiratete ich. Nach meinem fünften Studiensemester bestand ich im Februar 1957 die medizinische Vorprüfung. Am 12. Juli 1960 schloß ich an der Universität Erlangen das Med. Staatsexamen mit Erfolg ab.

